

ЭКОЛОГИЯ

Обзорная статья

УДК 631.862

doi: 10.31774/2658-7890-2021-3-3-72-88

Экологически безопасные технологии подготовки животноводческих стоков

Екатерина Васильевна Комарова¹, Максим Анатольевич Ляшков²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации,
Новочеркасск, Российская Федерация

¹EkaterinaKomarova95@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9807-1696>

²layshkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7094-8575>

Аннотация. Цель: рассмотреть возможность применения кавитационного метода обеззараживания животноводческих стоков с возможностью внесения их сразу для удобрения сельскохозяйственных культур и получения жидкой и твердой фаз органоминеральных удобрений. **Обсуждения.** Представленные технологические схемы подготовки животноводческих стоков позволяют использовать их без добавления химических реагентов и выдерживания карантина в лагунах, а также получать экологически чистые удобрения, что перспективно для ведения органического сельского хозяйства. Внедрение кавитационного метода обработки животноводческих стоков позволило ООО «Система» избавиться от свойственного свиноводческим хозяйствам специфического запаха, сократить расходы на утилизацию навозных масс, так как стоимость обработки 1 м³ стоков на кавитационном генераторе-диспергаторе составляет около 7,5 руб./м³. Внесение кавитированных навозных стоков под выращиваемые культуры обеспечивало повышение урожайности, нарастание биомассы и рост качества выращиваемых культур. **Выводы.** Кавитационная обработка позволяет животноводческие стоки сразу вносить на сельскохозяйственные поля и дает возможность строительства животноводческих комплексов без лагун отстойников, что снижает негативное воздействие на окружающую природную среду. Кавитация является эффективным и энергетически экономичным, экологически чистым направлением утилизации навозных стоков, позволяет вести органическое сельское хозяйство, основанное на экологических принципах. Полученные органоминеральные удобрения мало уступают промышленным удобрениям по урожайности и превосходят их по качеству. Технологии кавитационной обработки животноводческих стоков позволяют хозяйствам производить органическую продукцию, что в связи с повышением спроса на такую продукцию позволит увеличить уровень продаж как в России, так и в странах, жители которых являются основными потребителями органической продукции.

Ключевые слова: животноводческие стоки, кавитация, обеззараживание, органическое сельское хозяйство, удобрения, сельское хозяйство

Благодарности: авторы выражают особую благодарность НПЦ «КаВУТ» и ООО «Система» за оказанную помощь при написании настоящей статьи.

ECOLOGY

Review article

Environmentally friendly technologies for livestock effluents treatment

Ekaterina V. Komarova¹, Maxim A. Lyashkov²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹EkaterinaKomarova95@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9807-1696>

²layshkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7094-8575>

Abstract. Purpose: to consider the possibility of using the cavitation method of disinfection of livestock effluents with the possibility of their applying immediately for fertilizing agricultural crops and obtaining liquid and solid phases of organic-mineral fertilizers. **Discussions.** The presented technological schemes for preparation of livestock effluents allow them to be used without adding chemical reagents and keeping quarantine in lagoons, as well as to obtain environmentally friendly fertilizers, which is promising for organic agriculture. The introduction of the cavitation method for processing livestock wastewater allowed Sistema LLC to get rid of the specific smell characteristic of pig farms, to reduce the cost of utilizing manure, since the cost of treatment 1 m³ of wastewater on a cavitation generator-disperser is about 7.5 rubles/m³. The introduction of cavitated manure runoff under cultivated crops ensured an increase in productivity, an increase in biomass and an increase in the quality of cultivated crops. **Conclusions.** Cavitation treatment allows livestock wastewater to be immediately applied to agricultural fields and makes it possible to build livestock complexes without settling lagoon-silt sumps, which reduces the negative impact on the environment. Cavitation is an efficient and energy-saving, environmentally friendly direction of manure disposal, allows organic agriculture based on environmental principles. The obtained organic-mineral fertilizers are not much inferior to industrial fertilizers in terms of yield and surpass them in quality. The cavitation treatment technologies of livestock wastewater will allow farms to produce organic products, which, due to an increase in demand for such products, will increase the level of sales both in Russia and in countries whose inhabitants are the main consumers of organic products.

Keywords: livestock wastewater, cavitation, disinfection, organic agriculture, fertilizers, agriculture

Acknowledgments: the authors would like to express special gratitude to the SPC “KAVUT” and LLC “Sistema” for their assistance in writing this article.

Введение. На сегодняшний день в сельскохозяйственном природопользовании происходит обострение экологических проблем – химическое загрязнение и эрозия почв, снижение их плодородия, загрязнение малых рек и т. п. Это обуславливается современным ведением сельского хозяйства: расширением ассортимента пестицидов для борьбы с сорняками, внесением огромного количества агрохимии, нарушением технологий возделывания, утилизацией животноводческих стоков; все эти мероприятия, ко всему прочему, требуют вклада больших материальных средств.

Сельскохозяйственное загрязнение – это антропогенное явление, ко-

торое заключается в накоплении избыточного количества вредных веществ в почве, атмосферном воздухе, подземных и поверхностных водах в результате применения нерациональных способов ведения земледелия, животноводства и нарушении экосистемы [1].

Еще одним звеном сельского хозяйства, негативно влияющим на окружающую природную среду, является животноводство. В результате его деятельности происходит образование и накопление значительного количества отходов в виде навоза и продуктов его разложения, которые загрязняют поверхностные и грунтовые воды, почву и атмосферный воздух [2].

Основная задача в области сельского хозяйства сегодня – не допустить снижения плодородия почв и прогрессирования других экологических проблем сельского хозяйства, основываясь на экологических подходах к развитию земледелия, растениеводства и животноводства, направленных на сближение основных принципов функционирования агро- и естественных систем, с разумным использованием опыта природы и формируемой системы в гармонии с поступающей от Солнца энергией [3].

В числе приоритетов и перспектив научно-технологического развития РФ – переход к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству [4], которое позволит:

- избежать негативных экологических последствий в аграрном секторе, восстановить нарушенные экосистемы за счет использования биологических методов повышения плодородия почвы и защиты растений;
- обеспечить население качественными и безопасными продуктами питания;
- повысить доходность аграриев, в т. ч. малых форм хозяйствования, привлечь инвестиции;
- вытеснить с рынка недобросовестных производителей и в итоге повысить уровень конкурентоспособности отечественной органической продукции;
- нарастить экспорт органической продукции [5].

Таким образом, решение проблемы подготовки (обеззараживания) животноводческих стоков до показателей, пригодных к экологически безопасному использованию при выращивании сельскохозяйственных культур, является достаточно актуальным вопросом и требует внедрения новых методов [6].

Обработка животноводческих стоков методом кавитации может рассматриваться как одно из перспективных направлений при ведении высокопродуктивного и экологически чистого агрохозяйства, позволяет на своей основе образовать технологические схемы обеззараживания животноводческих стоков влажностью от 80 % и получения органоминеральных удобрений из отходов животноводства (крупного рогатого скота (далее КРС), свиней и др.), использовать их в системе увлажнительно-удобрительного полива.

Выдающихся достижений в области кавитационного обеззараживания животноводческих стоков добились алтайские ученые [7, 8], также изучением эффекта кавитации занимаются В. А. Кулагин [9–13], Л. С. Прохасько [14, 15] и др. [16–20]. Кавитационное обеззараживание не осталось без внимания в зарубежных странах [21–27].

Цель исследования: рассмотреть возможность применения кавитационного метода обеззараживания животноводческих стоков с возможностью внесения их сразу для удобрения сельскохозяйственных культур и получения жидкой и твердой фаз органоминеральных удобрений.

Обсуждение. В данной работе представлены технологические схемы кавитационной подготовки животноводческих стоков с возможностью получения органических удобрений с внесением на сельскохозяйственные земли.

Выбор технологии удаления и утилизации навоза зависит главным образом от системы содержания животных, физико-механических и бактериологических свойств навоза.

Первая схема включает обработку животноводческих стоков в кавитационной установке с возможностью внесения полученной суспензии органических удобрений сразу на сельскохозяйственные поля (рисунок 1).

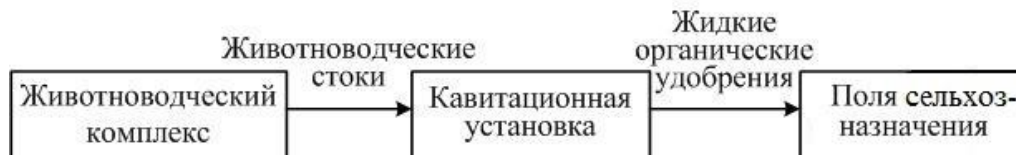


Рисунок 1 – Технологическая схема обработки животноводческих стоков кавитационным методом

Согласно данной схеме, животноводческие стоки проходят обработку кавитационным методом и сразу могут вноситься на сельскохозяйственные поля.

Данная технология не требует внесения дополнительных реагентов, но не исключает и такую возможность, занимает небольшие площади, проста в исполнении и управлении.

Данная схема применима в различных по мощности животноводческих комплексах, как в небольших фермерских хозяйствах, так и в крупных промышленных холдингах.

Животноводческие стоки могут подвергаться одной-пяти кавитационным обработкам в зависимости от требований к качеству обеззараживания. На выходе образуется устойчивая тонкодисперсная смесь, устойчивая к расслоению, а также имеющая длительный срок хранения.

Схема, представленная на рисунке 1, получила свое применение в ООО «Система», расположенном недалеко от с. Фунтики Топчихинского района Алтайского края (рисунок 2).

Для очистки и обеззараживания животноводческих стоков применяется разработанный А. Д. Петраковым кавитационный генератор-диспергатор марки КГД 16,6/60 – УХЛ4 [8].

Технологическая схема обработки животноводческих стоков в ООО «Система» представлена на рисунке 3 (животноводческие стоки

подвергаются обработке на кавитационном генераторе-диспергаторе до достижения качества, позволяющего вносить их непосредственно на поля).

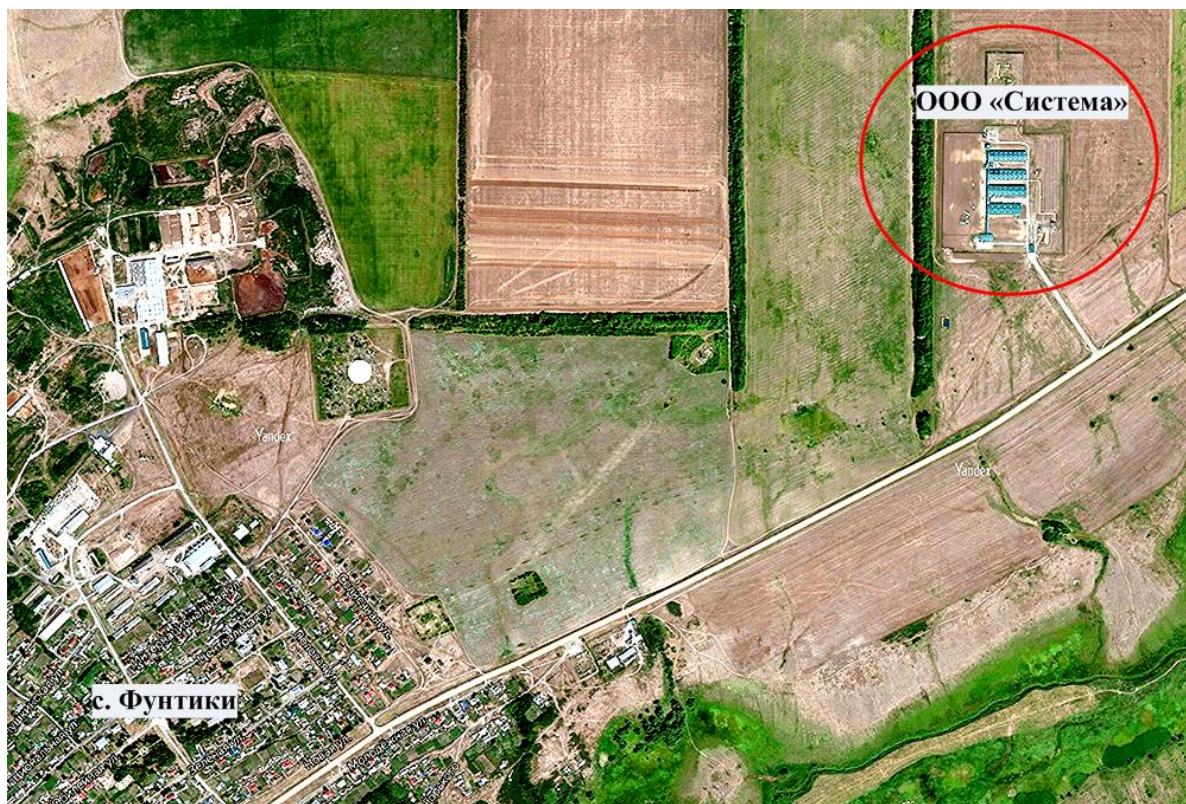
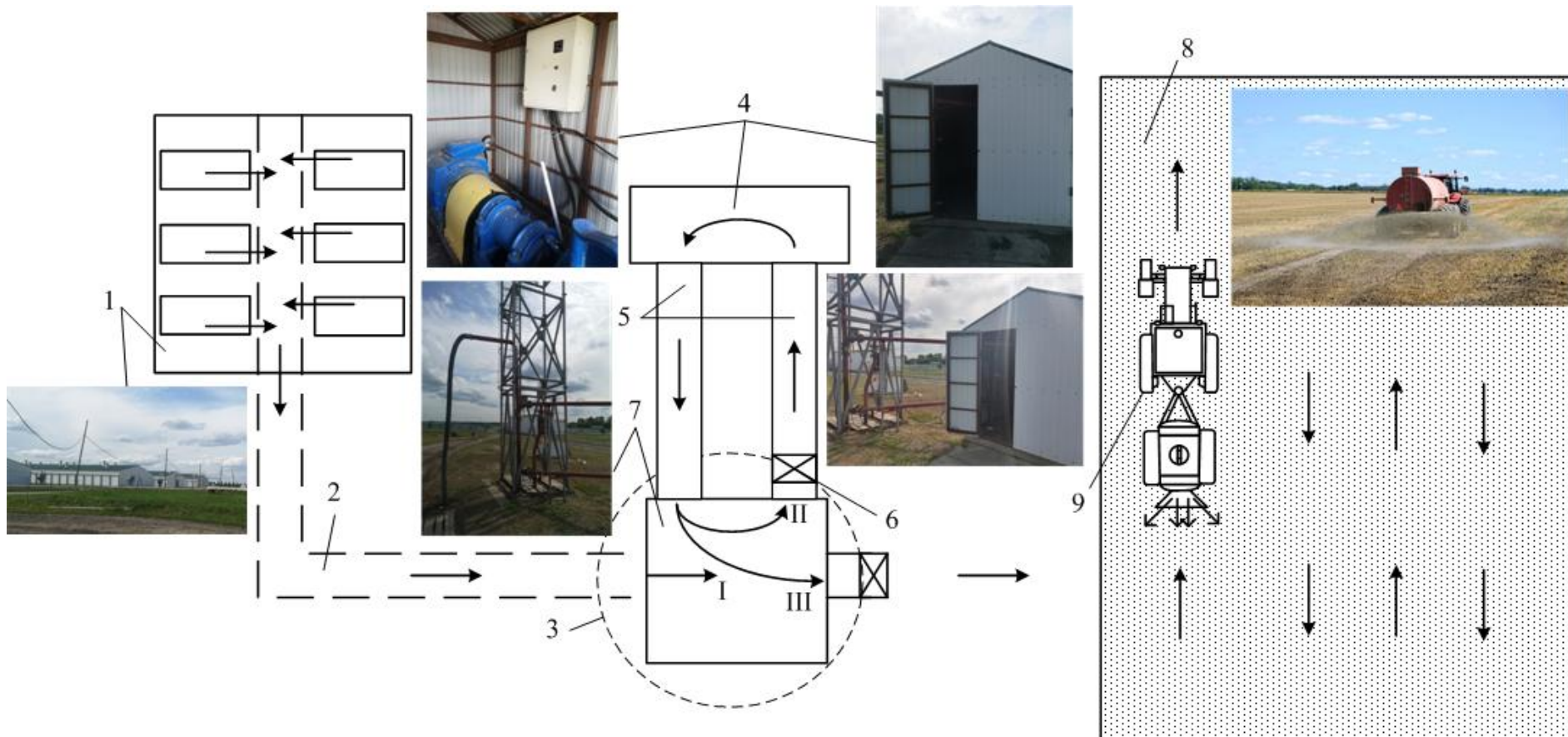


Рисунок 2 – Космоснимок расположения ООО «Система»

Животноводческие стоки от мест содержания 1 по трубопроводу 2 поступают в резервуар для хранения 3, в случае если требуется довести животноводческие стоки до требуемого качества, стоки по трубопроводу 5 подаются на кавитационный генератор-диспергатор. Количество циклов обработки на кавитационном генераторе-диспергаторе регулируется с помощью крана 6.

Вывоз обработанных стоков осуществляется специализированной техникой, обслуживание которой осуществляется на узле 7.

Животноводческие стоки (объемом $18 \text{ м}^3/\text{сут}$) вывозятся на поля сельскохозяйственного назначения 8 (шесть дней в неделю). Внесение обработанных животноводческих стоков производят трактором с установленным разбрызгивающим агрегатом 9 (нормой $30 \text{ м}^3/\text{га}$) без вспашки под кормовые культуры.



1 – помещения для содержания свиней; 2 – трубопровод для отвода животноводческих стоков; 3 – резервуар для животноводческих стоков; 4 – помещение с кавитационной установкой; 5 – трубопроводы для подачи и отвода стоков; 6 – кран; 7 – узел для обслуживания ассенизаторской машины; 8 – поле; 9 – трактор с разбрасывающим агрегатом;
I, II, III – схема движения животноводческих стоков

**Рисунок 3 – Технологическая схема обработки животноводческих стоков, реализованная в ООО «Система»
(авторы фото М. А. Ляшков, А. В. Слабунова)**

Также имеется практика внесения обработанных стоков на поля в зимний период поверх снежного покрова, но до момента таяния снега, до образования поверхностного стока для предотвращения смыва удобрений в водный объект.

Внедрение кавитационного метода обработки животноводческих стоков позволило ООО «Система» избавиться от свойственного свиноводческим хозяйствам специфического запаха, так как после обработки происходит устранение запаха, а также не устраивать на территории предприятия лагун для утилизации стоков. Кроме того, это дало возможность сократить расходы на утилизацию животноводческих стоков, потому как рассчитывается лишь стоимость затраченной электроэнергии на обработку 1 м³ стоков на кавитационном генераторе-диспергаторе (около 7,5 руб./м³).

Вторая схема кавитационного обеззараживания животноводческих стоков включает линию приготовления твердой и жидкой фракции органических удобрений и выглядит следующим образом (рисунок 4).



Рисунок 4 – Технологическая схема кавитационной обработки жидкого навоза

Животноводческие стоки после кавитации подаются в блок разделения на жидкую и твердую фракции.

Жидкая фракция направляется в блок доочистки для доведения ее до требований, которые зависят от дальнейшей цели применения.

Твердая фракция после блока разделения направляется в блок приго-

товления твердых удобрений (также не исключается возможность ее использования в приготовлении компоста).

За счет экономии от применения кавитационного обеззараживания вместо общепринятых систем очистки животноводческих стоков для животноводческих комплексов открывается возможность из отходов животноводства получать сырье для производства органических и органоминеральных удобрений в жидкой и твердой фазе.

Вышеуказанная схема (рисунок 4) соответствует способу кавитационного обеззараживания животноводческих стоков и получения гранулированных органоминеральных удобрений и жидкой фазы (используемой для орошения, оборотного водоснабжения, доочистки в биопрудах-отстойниках). Патентообладателями схемы кавитационного обеззараживания животноводческих стоков являются А. Д. Петраков и С. М. Радченко [9].

Способ¹ включает в себя стадии кавитационного воздействия на навоз (или помет), а также разделения их на твердую и жидкую фракции с приготовлением гранулированных органоминеральных удобрений из твердой фракции. В навоз или помет из животноводческих или птицеводческих помещений добавляют кавитационно приготовленные гуматы и кавитационно приготовленный глауконит, полученную суспензию сепарируют, в результате разделяя на жидкую и твердую фазы.

Жидкая фракция подается на центрифугу, в которой очищается от грязи и органической взвеси, и используется в зависимости от назначения (орошение сельскохозяйственных культур, оборотное водоснабжение, доочистка в биопрудах-отстойниках).

Твердая фракция после сепарирования направляется в смеситель, куда добавляются органические наполнители: минеральные азот, фосфор, ка-

¹Пат. 2527851 Российская Федерация, МПК С 05 F 3/00. Кавитационный способ обеззараживания жидкого навоза и помета и технологическая линия для безотходного приготовления органоминеральных удобрений / Петраков А. Д., Радченко С. М. № 2013109863/13; заявл. 05.03.13; опубл. 10.09.14, Бюл. № 25. 2 с.

лийсодержащие удобрения и микроэлементы. Тщательно перемешенная органоминеральная масса из смесителя направляется в сушилку, в которой подсушивается до влажности 20 %.

Подсушенная органоминеральная масса направляется в гранулятор, а полученные гранулы после охлаждения и расфасовки могут использоваться как полноценный готовый продукт – гранулированные органоминеральные удобрения.

Метод кавитации обеспечивает обеззараживание и очищение животноводческих стоков, одновременно способствует увеличению основных питательных элементов (таблица 1) [28].

Таблица 1 – Состав навозных стоков до и после кавитации [28]

Способ подготовки	Сухое вещество, %	pH	%, на натуральную влажность					
			Общий			Органическое вещество	Ca	Mg
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
До кавитации	7,0	7,2	0,123	0,298	0,070	84,0	0,015	0,001
Одна кавитация	6,8	7,0	0,120	0,306	0,087	83,5	0,045	0,003
Две кавитации	7,9	6,9	0,158	0,405	0,105	79,0	0,070	0,004

При внесении кавитированных навозных стоков под выращиваемые культуры наблюдалось повышение урожайности, нарастание биомассы и повышение качества выращиваемых культур [28–33].

Производство гранулированных органоминеральных удобрений из кавитированных животноводческих стоков способствует увеличению удобряемых площадей [28]. Так, имеется мнение [28], что на свиноводческом предприятии в 30 тыс. голов и в комплексе КРС на 2,5 тыс. голов в год можно получить 3450 т твердых органоминеральных удобрений, это при внесении одновременно с посевами в дозе 0,5 ц/га позволит удобрить 70 тыс. га пашни.

Выводы. Кавитационная обработка животноводческих стоков позволяет обеззаразить их и сразу вносить на поля, без выдерживания карантина в лагунах, что снижает негативное воздействие на окружающую природную среду.

Кавитация является эффективным и энергетически экономичным, экологически чистым направлением утилизации навозных стоков, которое обеспечивает обеззараживание стоков и повышает количество доступных элементов (N, P, K), что, в свою очередь, сокращает затраты на покупку и внесение минеральных удобрений.

Полученные путем предварительной кавитационной обработки животноводческих стоков органоминеральные удобрения мало уступают промышленным удобрениям по урожайности, однако в разы превосходят по качеству, потому как состав удобрений включает естественную органику.

Представленные типовые технологические схемы кавитационной подготовки животноводческих стоков и дополнительные линии разделения жидкой и твердой фаз с получением органоминеральных удобрений позволяют вести органическое сельское хозяйство, основанное на экологических принципах.

Список источников

1. Пути решения экологических проблем сельского хозяйства [Электронный ресурс]. URL: <https://ecohuman.ru/eko-voprosy/ekologiya-selskogo-hozyajstva.html> (дата обращения: 12.08.2021).
2. Экологические проблемы в отрасли животноводства [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberpedia.su/4x3c54.html> (дата обращения: 18.08.2021).
3. Белюченко И. С., Мельник О. А. Сельскохозяйственная экология как научная основа аграрного производства: учеб. пособие. Краснодар: Изд-во КГАУ, 2010. 297 с.
4. Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федер. закон от 3 авг. 2018 г. № 280-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_304017/ (дата обращения: 18.08.2021).
5. Органическое сельскохозяйственное производство // М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-nauchno-tekhnologicheskoy-politiki-i-obrazovaniya/industry-information/info-organicheskoe-selskoe-khozyaystvo/> (дата обращения: 11.08.2021).
6. Комарова Е. В., Слабунова А. В., Харитонов С. Е. Применение эффекта кавитации при очистке сточных вод животноводства // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2021. Т. 3, № 2. С. 61–74. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=110> (дата обращения: 12.08.2021). DOI: 10.31774/2658-7890-2021-3-2-61-74.
7. Оборудование // Науч.-произв. центр «КаВУТ» [Электронный ресурс]. URL: <https://kavut.ru/equipment/> (дата обращения: 05.08.2021).
8. Безотходная технология обеззараживания и переработки навозов и стоков [Электронный ресурс]. URL: <https://kavut.ru/безотходная-технология-обеззараживания/> (дата обращения: 12.08.2021).

9. Кулагин В. А., Кулагина Т. А., Шеленкова В. В. Феноменологическая модель гидродинамического кавитационного воздействия на водные системы // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2019. № 12(7). С. 818–829.

10. Интенсификация процессов биологической очистки сточной воды предприятий пищевого комплекса на основе эффектов гидродинамической кавитации / О. Г. Дубровская, В. А. Кулагин, Т. А. Курилина, А. И. Матюшенко // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2018. № 11(5). С. 584–590.

11. Дубровская О. Г., Кулагин В. А. Безреагентная очистка промышленных сточных вод, содержащих тяжелые металлы на основе технологии гидродинамической кавитации // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2019. № 12(4). С. 460–467.

12. Особенности влияния эффектов кавитации на физико-химические свойства воды и стоков / В. А. Кулагин, Е. С. Сапожникова, О. П. Стебелева, Л. В. Кашкина, Ч. И. Чжэн, Ц. Ли, Ф. Ч. Ли // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2017. № 5. С. 605–614.

13. Дубровская О. Г., Кулагин В. А., Сапожникова Е. С. Современные компоновки технологических схем очистки сточных вод с использованием кавитационной технологии // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2018. № 2. С. 217–223.

14. Кавитационные технологии в пищевой промышленности / Д. А. Ярмаркин, Л. С. Прохасько, А. Н. Мазаев, Б. К. Асенова, О. В. Зинина, Р. В. Залилов // Молодой ученый [Электронный ресурс]. 2014. № 8(67). С. 312–315. URL: <https://moluch.ru/archive/67/11467/> (дата обращения: 30.03.2021).

15. Расчет параметров кавитационного устройства для жидких пищевых сред / Л. С. Прохасько, Р. В. Залилов, О. В. Зинина, Б. К. Асенова // АПК России. 2016. № 1. С. 96–104.

16. Комарова Е. В., Слабунова А. В. Зарубежный и российский опыт применения сточных вод в удобрительном поливе сельскохозяйственных земель // Наука и образование: сохраняя прошлое, создаем будущее: сб. ст. XXXIII Междунар. науч.-практ. конф., г. Пенза, 10 апр. 2021 г. Пенза: Наука и Просвещение, 2021. С. 35–40.

17. Кавитационная обработка воды. Свойства воды и эффективность обработки / Ю. М. Аверина, Н. А. Моисеева, Д. А. Шувалов, Н. П. Нырков, А. Ю. Курбатов // Успехи в химии и химической технологии. 2018. Т. 32, № 14. С. 17–19.

18. Кавитационный способ обеззараживания жидких органических отходов и приготовления органоминеральных удобрений: пат. 2735961 Рос. Федерация: МПК С 05 F 3/00, В 82 В 3/00, В 82 Y 40/00 / Полищук С. Д., Чурилов Д. Г., Костенко М. Ю., Безносюк Р. В., Тумаков С. Н., Рембалович Г. К., Бышов Н. В., Борычев С. Н., Наумов К. С.; заявитель и патентообладатель Ряз. гос. агротехн. ун-т им. П. А. Костычева. № 2019138106; заявл. 25.11.19; опубл. 11.11.20, Бюл. № 32. 6 с.

19. Ковальчук А. Н., Ковальчук Н. М., Кузин В. А. Развитие эффекта пастеризации при обеззараживании навоза методом кавитации // Эпоха науки. 2015. № 4. С. 40.

20. Петрякова О. Д., Гудач М. В. Оценка преимуществ кавитационного обеззараживания и разработка кавитационного устройства нового типа // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. 2011. № 12. С. 163–168.

21. Wang B., Su H., Zhang B. Hydrodynamic cavitation as a promising route for wastewater treatment. A review // Chemical Engineering Journal. 2021. Vol. 412. P. 654–685. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.128685>.

22. Effects of cavitation on different microorganisms: The current understanding of the mechanisms taking place behind the phenomenon. A review and proposals for further research / M. Zupanc, Ž. Pandur, T. Stepišnik Perdih, D. Stopar, M. Petkovšek, M. Dular // Ultrasonics Sonochemistry. 2019. Vol. 57. P. 147–165. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.05.009>.

23. Experimental investigation of the thermal and disinfection performances of a novel hydrodynamic cavitation reactor / Xun Sun, Jong Jin Park, Hyun Soo Kim, Seung Ho Lee, Si Jin Seong, Ae Son Om, Joon Yong Yoon // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2018. Vol. 49. P. 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.02.039>.

24. Investigation of sludge disintegration using rotor-stator type hydrodynamic cavitation reactor / Hyunsoo Kim, Bonchan Koo, Xun Sun, Joon Yong Yoon // *Separation and Purification Technology*. 2020. Vol. 240. P. 95–116. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116636>.

25. A review on hydrodynamic cavitation disinfection: The current state of knowledge / Xun Sun, Jingting Liu, Li Ji, Guichao Wang, Shan Zhao, Joon Yong Yoon, Songying Chen // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 737. P. 579–606. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139606>.

26. Bhat A. P., Gogate P. R. Cavitation-based pre-treatment of wastewater and waste sludge for improvement in the performance of biological processes: A review // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2021. Vol. 9. P. 725–743. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104743>.

27. Joshi S. M., Gogate P. R. Intensification of industrial wastewater treatment using hydrodynamic cavitation combined with advanced oxidation at operating capacity of 70 L // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019. Vol. 52. P. 375–381. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.016>.

28. Антонова О. И., Даскин В. Ю., Крутько М. А. Эффективность свиных навозных стоков разной степени подготовки и органоминеральных удобрений на основе твердой фракции стоков ферм КРС, отходов растениеводства, угольных карьеров на урожайность и качество кормовых культур в Алтайском крае // *Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: IV Междунар. науч. экол. конф., г. Краснодар, 24–25 марта 2015 г. Краснодар: Куб. гос. аграр. ун-т, 2015. С. 101–105.*

29. Антонова О. И., Крутько М. А. Сравнительная эффективность натуральных и кавитированных стоков под кукурузу в условиях умеренно-засушливой колочной степи // *Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. ст. Барнаул: Алт. гос. аграр. ун-т, 2015. С. 7–10.*

30. Крутько М. А., Антонова О. И. Влияние возрастающих доз навозных стоков на урожайность и качество зеленой массы кукурузы // *Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. ст. Барнаул: Алт. гос. аграр. ун-т, 2016. С. 135–137.*

31. Лучшев Д. С. Урожайность и качество зерна ячменя по вариантам внесения разных доз натуральных и кавитированных навозных стоков // *Молодежь – Барнаулу: материалы XVI Науч.-практ. конф. молодых ученых, г. Барнаул, 17–25 нояб. 2014 г. Барнаул: Алт. гос. мед. ун-т М-ва здравоохранения Рос. Федерации, 2014. С. 19–20.*

32. Никитин С. И., Крутько М. А. Влияние кавитированных обеззараженных навозных стоков на показатели качества зеленой массы кукурузы // *Молодежь – Барнаулу: материалы XVI Науч.-практ. конф. молодых ученых, г. Барнаул, 17–25 нояб. 2014 г. Барнаул: Алт. гос. мед. ун-т М-ва здравоохранения Рос. Федерации, 2014. С. 20–22.*

33. Степкин Д. С. Формирование продуктивности однолетних трав в связи с внесением свиных навозных стоков разных способов обработки // *Молодежь – Барнаулу: материалы XVI Науч.-практ. конф. молодых ученых, г. Барнаул, 17–25 нояб. 2014 г. Барнаул: Алт. гос. мед. ун-т М-ва здравоохранения Рос. Федерации, 2014. С. 23–24.*

References

1. *Puti resheniya ekologicheskikh problem sel'skogo khozyaystva* [Ways of Solving Environmental Problems of Agriculture], available: <https://ecohuman.ru/eko-voprosy/ekologiyaselskogo-hozyaystva.html> [accessed 12.08.2021]. (In Russian).

2. *Ekologicheskie problemy v otrasli zhivotnovodstva* [Environmental Problems in Livestock], available: <https://cyberpedia.su/4x3c54.html> [accessed 18.08.2021]. (In Russian).

3. Belyuchenko I.S., Melnik O.A., 2010. *Sel'skokhozyaystvennaya ekologiya kak nauchnaya osnova agrarnogo proizvodstva: uchebnoe posobie* [Agricultural Ecology as a Scientific Basis of Agricultural Production: textbook]. Krasnodar, KGAU Publ., 297 p. (In Russian).

4. *Ob organicheskoy produkcii i o vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii* [On Organic Products and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation]. Federal Law of Russian Federation of 3 Aug. 2018, no. 280-FZ, available: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_304017/ [accessed 18.08.2021]. (In Russian).

5. *Organicheskoe sel'skokhozyaystvennoe proizvodstvo* [Organic Agricultural Production], available: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-nauchno-tekhnologicheskoy-politiki-i-obrazovaniya/industry-information/info-organicheskoe-selskoe-khozyaystvo/> [accessed 11.08.2021]. (In Russian).

6. Komarova E.V., Slabunova A.V., Kharitonov S.E., 2021. [Applying the cavitation effect in animal wastewater treatment]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, vol. 3, no. 2, pp. 61-74, available: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=110> [accessed 12.08.2021], DOI: 10.31774/2658-7890-2021-3-2-61-74. (In Russian).

7. *Oborudovanie. Nauchno-proizvodstvennyy tsentr "KaVUT"* [Equipment. Scientific-Production Center "KAVUT"], available: <https://kavut.ru/equipment/> [accessed 05.08.2021]. (In Russian).

8. *Bezotkhodnaya tekhnologiya obezzarazhivaniya i pererabotki navozov i stokov* [Waste-free Technology for Disinfection and Manure and Wastewater Treatment], available: <https://kavut.ru/wasteless-technology-decontamination/> [accessed 12.08.2021]. (In Russian).

9. Kulagin V.A., Kulagina T.A., Shelenkova V.V., 2019. *Fenomenologicheskaya model' gidrodinamicheskogo kavitatsionnogo vozdeystviya na vodnye sistemy* [Phenomenological model of hydrodynamic cavitation impact on water systems]. Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, no. 12(7), pp. 818-829. (In Russian).

10. Dubrovskaya O.G., Kulagin V.A., Kurilina T.A., Matyushenko A.I., 2018. *Intensifikatsiya protsessov biologicheskoy ochistki stochnoy vody predpriyatiy pishchevogo kompleksa na osnove effektiv gidrodinamicheskoy kavitatsii* [Intensification of biological wastewater treatment processes for food industry enterprises based on hydrodynamic cavitation]. Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, no. 11(5), pp. 584-590. (In Russian).

11. Dubrovskaya O.G., Kulagin V.A., 2019. *Bezreagentnaya ochistka promyshlennykh stochnykh vod, soderzhashchikh tyazhelye metally na osnove tekhnologii gidrodinamicheskoy kavitatsii* [Non-reagent cleaning of industrial wastewater containing heavy metals based on hydrodynamic cavitation technology]. Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, no. 12(4), pp. 460-467. (In Russian).

12. Kulagin V.A., Sapozhnikova E.S., Stebeleva O.P., Kashkina L.V., Zheng Ch.I., Li C., Lee F.C., 2017. *Osobennosti vliyaniya effektiv kavitatsii na fiziko-khimicheskie svoystva vody i stokov* [Features of influence of cavitation effects on the physicochemical properties of water and wastewater]. Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, no. 5, pp. 605-614. (In Russian).

13. Dubrovskaya O.G., Kulagin V.A., Sapozhnikova E.S., 2018. *Sovremennye komponenty tekhnologicheskikh skhem ochistki stochnykh vod s ispol'zovaniem kavitatsionnoy tekhnologii* [Modern variants of technological schemes for wastewater purification using cavitation technology]. Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, no. 2, pp. 217-223. (In Russian).

14. Yarkin D.A., Prokhasko L.S., Mazaev A.N., Assenova B.K., Zinina O.V., Zalilov R.V., 2014. *Kavitatsionnye tekhnologii v pishchevoy promyshlennosti* [Cavitation technologies

in food industry]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], no. 8(67), pp. 312-315, available: <https://moluch.ru/archive/67/11467/> [accessed 30.03.2021]. (In Russian).

15. Prokhasko L.S., Zalilov R.V., Zinina O.V., Asenova B.K., 2016. *Raschet parametrov kavitatsionnogo ustroystva dlya zhidkikh pishchevykh sred* [Calculation of the parameters of the cavitation device for liquid food media]. *APK Rossii* [APK of Russia], no. 1, pp. 96-104. (In Russian).

16. Komarova E.V., Slabunova A.V., 2021. *Zarubezhnyy i rossiyskiy opyt primeneniya stochnykh vod v udobritel'nom polive sel'skokhozyaystvennykh zemel'* [Foreign and Russian experience of using wastewater in fertilizing irrigation of agricultural lands]. *Nauka i obrazovanie: sokhranyaya proshloe, sozdaem budushchee: sb. st. XXXIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science and Education: Preserving the Past, Creating the Future: Proc. of XXXIII International Scientific-Practical Conference]. Penza, Science and Education Publ., pp. 35-40. (In Russian).

17. Averina Yu.M., Moiseeva N.A., Shuvalov D.A., Nyrkov N.P., Kurbatov A.Yu., 2018. *Kavitatsionnaya obrabotka vody. Svoystva vody i effektivnost' obrabotki* [Cavitation water treatment. Water properties and treatment efficiency]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Success in Chemistry and Chemical Technology], vol. 32, no. 14, pp. 17-19. (In Russian).

18. Polishchuk S.D., Churilov D.G., Kostenko M.Yu., Beznosyuk R.V., Tumakov S.N., Rembalovich G.K., Byshov N.V., Borychev S.N., Naumov K.S., 2020. *Kavitatsionnyy sposob obezzarazhivaniya zhidkikh organicheskikh otkhodov i prigotovleniya organomineral'nykh udobreniy* [Cavitation Method of Disinfection of Liquid Organic Waste and Preparation of Organic Fertilizers]. Patent of RF, no. 2735961. (In Russian).

19. Koval'chuk A.N., Koval'chuk N.M., Kuzin V.A., 2015. *Razvitie effekta pasterezatsii pri obezzarazhivanii navoza metodom kavitatsii* [Development of the effect of pasteurization during disinfection of manure by the cavitation method]. *Epokha nauki* [Epoch of Science], no. 4, p. 40. (In Russian).

20. Petryakova O.D., Gudach M.V., 2011. *Otsenka preimushchestv kavitatsionnogo obezzarazhivaniya i razrabotka kavitatsionnogo ustroystva novogo tipa* [Assessment of the advantages of cavitation disinfection and the development of a new type of cavitation device]. *Vestnik Volzhskogo universiteta im. V. N. Tatishcheva* [Bull. of Volzhskiy University named after V.N. Tatishchev], no. 12, pp. 163-168. (In Russian).

21. Wang B., Su H., Zhang B., 2021. Hydrodynamic cavitation as a promising route for wastewater treatment. A review. *Chemical Engineering Journal*, vol. 412, pp. 654-685, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.128685>.

22. Zupanc M., Pandur Ž., Stepišnik Perdih T., Stopar D., Petkovšek M., Dular M., 2019. Effects of cavitation on different microorganisms: The current understanding of the mechanisms taking place behind the phenomenon. A review and proposals for further research. *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 57, pp. 147-165, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.05.009>.

23. Xun Sun, Jong Jin Park, Hyun Soo Kim, Seung Ho Lee, Si Jin Seong, Ae Son Om, Joon Yong Yoon, 2018. Experimental investigation of the thermal and disinfection performances of a novel hydrodynamic cavitation reactor. *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 49, pp. 13-23, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.02.039>.

24. Hyunsoo Kim, Bonchan Koo, Xun Sun, Joon Yong Yoon, 2020. Investigation of sludge disintegration using rotor-stator type hydrodynamic cavitation reactor. *Separation and Purification Technology*, vol. 240, pp. 95-116, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116636>.

25. Xun Sun, Jingting Liu, Li Ji, Guichao Wang, Shan Zhao, Joon Yong Yoon, Songying Chen, 2020. A review on hydrodynamic cavitation disinfection: The current state of knowledge. *Science of the Total Environment*, vol. 737, pp. 579-606, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139606>.

26. Bhat A.P., Gogate P.R., 2021. Cavitation-based pre-treatment of wastewater and waste

sludge for improvement in the performance of biological processes: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, pp. 725-743, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104743>.

27. Joshi S.M., Gogate P.R., 2019. Intensification of industrial wastewater treatment using hydrodynamic cavitation combined with advanced oxidation at operating capacity of 70 L. *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 52, pp. 375-381, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.016>.

28. Antonova O.I., Daskin V.Yu., Krut'ko M.A., 2015. *Effektivnost' svinykh navoznykh stokov raznoy stepeni podgotovki i organomineral'nykh udobreniy na osnove tverдой fraktsii stokov ferm KRS, otkhodov rastenievodstva, ugol'nykh kar'erov na urozhaynost' i kachestvo kormovykh kul'tur v Altayskom krae* [Efficiency of pig manure wastewaters of varying degrees of preparation and organic fertilizers based on the solid fraction of cattle effluent, plant residues, coal pits on productivity and quality of forage crops in Altai Territory]. *Problemy rekul'tivatsii otkhodov byta, promyshlennogo i sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva: IV Mezhdunarodnaya nauchno-ekologicheskaya konferentsiya* [Problems of Reclamation of Household Waste, Industrial and Agricultural Production: Proc. of IV International Scientific Ecological Conference]. Krasnodar, Kuban State Agrarian Univ., pp. 101-105. (In Russian).

29. Antonova O.I., Krut'ko M.A., 2015. *Sravnitel'naya effektivnost' natural'nykh i kavitirovannykh stokov pod kukuruzy v usloviyakh umerenno-zasushlivoy kolochnoy stepi* [Comparative efficiency of natural and cavitated effluents for corn under moderately dry kolchis steppe]. *Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaystvu: sb. st.* [Agrarian Science to Agriculture: Proc.]. Barnaul, Altay State Agrarian University, pp. 7-10. (In Russian).

30. Krut'ko M.A., Antonova O.I., 2016. *Vliyanie vozrastayushchikh doz navoznykh stokov na urozhaynost' i kachestvo zelenoy massy kukuruzy* [Influence of increasing doses of manure wastewater on productivity and quality of corn green mass]. *Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaystvu: sb. st.* [Agrarian Science to Agriculture: Proc.]. Barnaul, Altay State Agrarian University, pp. 135-137. (In Russian).

31. Luchshev D.S., 2014. *Urozhaynost' i kachestvo zerna yachmenya po variantam vneseniya raznykh doz natural'nykh i kavitirovannykh navoznykh stokov* [Productivity and barley grain quality according to the options for applying different doses of natural and cavitated manure wastewater]. *Molodezh' – Barnaulu: materialy XVI Nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh* [Youth to Barnaul: Proc. of XVI Scientific-Practical Conference of Young Scientists]. Altay State Medical University of Ministry of Health of Russian Federation, pp. 19-20. (In Russian).

32. Nikitin S.I., Krut'ko M.A., 2014. *Vliyanie kavitirovannykh obezzarazhennykh navoznykh stokov na pokazateli kachestva zelenoy massy kukuruzy* [Influence of cavitated disinfected manure wastewater on quality indicators of green mass of corn]. *Molodezh' – Barnaulu: materialy XVI Nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh* [Youth to Barnaul: Proc. of XVI Scientific-Practical Conference of Young Scientists]. Altay State Medical University of Ministry of Health of Russian Federation, pp. 20-22. (In Russian).

33. Stepkin D.S., 2014. *Formirovanie produktivnosti odnoletnikh trav v svyazi s vneseniem svinykh navoznykh stokov raznykh sposobov obrabotki* [Formation of productivity of annual grasses in connection with the introduction of pig manure wastewater of different treatment methods]. *Molodezh' – Barnaulu: materialy XVI Nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh* [Youth to Barnaul: Proc. of XVI Scientific-Practical Conference of Young Scientists]. Altay State Medical University of Ministry of Health of Russian Federation, pp. 23-24. (In Russian).

Информация об авторах

Е. В. Комарова – младший научный сотрудник, аспирант;

М. А. Ляшков – научный сотрудник.

Экология и водное хозяйство. 2021. Т. 3, № 3. С. 72–88.
Ecology and water management. 2021. Vol. 3, no. 3. P. 72–88.

Information about the authors

E. V. Komarova – Junior Researcher, Postgraduate Student;
M. A. Lyashkov – Researcher.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 04.06.2021; одобрена после рецензирования 14.09.2021; принята к публикации 16.09.2021.

The article was submitted 04.06.2021; approved after reviewing 14.09.2021; accepted for publication 16.09.2021.